UNTERSUCHUNGEN ÜBER DIE DIELEKTRIZITÄTSKONSTANTE VON ISOMEREN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR

ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE

DER

HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

AGAD.
LUBG.BAT.
BIBL.

VORGELEGT VON

PAUL BÖHM

AUS BAUCKE (SCHLESIEN).

HALLE A. S.
HOFBUCHDRUCKEREI C. A. KAEMMERER & CO.
1911.

Referent: Geh. Reg.-Rat Prof. Dr. E. Dorn.

Meinem lieben Freunde Paul Meisel!

Inhalt.

Seite

I. Einleitung 7
II. Das Versuchsmaterial 8
III. Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten . . . 9
1. Die Methode 9
a) Beschreibung des Apparates 9
b) Eichung der Kondensatoren 13
c) Beobachtung der Absorption 17
d) Ausführung der Untersuchungen . . . 20
2. Die Ergebnisse 22
3. Erörterung des Verlaufs der Kurven . . . 30
4. Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstanten von Isomeren 34
IV. Die Dichtebestimmung 37
α) Methode der Dichtebestimmung . . . 37
β) Die Ergebnisse 39
V. Beziehung zwischen Dielektrizitätskonstante und Dichte 42
VI. Zusammenfassung 45

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41544726_0114

I. Einleitung.

Die Erscheinung, daß quantitativ gleich zusammengesetzte organische Verbindungen von demselben Molekulargewicht dennoch ein verschiedenes Verhalten in chemischer und physikalischer Hinsicht zeigen, wird mit Isomerie im weiteren Sinne bezeichnet. Man erklärt sich die Isomerie durch die Annahme einer verschiedenen Anordnung der Atome im Molekül. Die Zahl der isomeren Verbindungen ist außerordentlich groß. Von den physikalischen Eigenschaften der Isomere sind insbesondere Schmelz- und Siedepunkte sowie Dichte bestimmt worden. Die Dielektrizitätskonstanten von Isomeren sind weniger eingehend untersucht worden. Erst durch die von P. Drude[1]) angegebene Methode haben die Untersuchungen über die Dielektrizitätskonstante fester und flüssiger Substanzen eine wesentliche Förderung erfahren.

Auf gütige Anregung des Herrn Prof. Dr. Dorn habe ich in der vorliegenden Arbeit die Dielektrizitätskonstante einiger Isomere im festen und flüssigen Zustande besonders in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur bestimmt. Fernerhin ist auch die Dichte der betreffenden Substanzen bei verschiedenen Temperaturen untersucht und die Beziehung zwischen Dielektrizitätskonstante und Dichte festgestellt worden, um einige Schlüsse auf die chemische Konstitution zu ermöglichen.

1) Wied. Ann. 61, 466 ff. 1897.

II. Das Versuchsmaterial.

Den nachstehenden Untersuchungen legte ich folgende Substanzen zugrunde:

1. Brenzkatechin,
2. Resorcin,
3. Hydrochinon.

4. α-Naphtol,
5. β-Naphtol.

6. Isobutylcarbinol;
7. Methylpropylcarbinol,
8. Dimethyläthylcarbinol.

Die beigegebene Tabelle führt in der ersten Spalte die Namen der untersuchten Isomere auf, in der zweiten Spalte sind die Strukturformeln gegeben, die dritte uud vierte Spalte enthält die Schmelz- bezw. Siedepunkte in Celsiusgraden. Bei den ersten drei Substanzen, den zweiwertigen Phenolen, bedeutet: o die Ortho-
m die Meta-
p die Parastellung der (OH)-Gruppe.

Name	Formel	Schmelz punkt	Siede-punkt
1. Brenzkatechin	$C_6H_4(OH)_2$ o-	104,5° C	245° C
2. Resorcin	$C_6H_4(OH)_2$ m-	110,0°	280°
3. Hydrochinon	$C_6H_4(OH)_2$ p-	169,5°	285°
4. α-Naphtol	$C_{10}H_8O$	95,4°	282°
5. β-Naphtol	$C_{10}H_8O$	122,2°	288°
6. Isobutylcarbinol	$(CH_3)_2 . CH . CH_2 . CH_2 . OH$	—	131,0°
7. Methylpropylcarbinol	$CH_3(CH_2)_2 . CH\,OH . CH_3$	—	118,5°
8. Dimethyläthylcarbinol	$(CH_3)_2 . C . (OH) . C_2H_5$	—	102,0°

Die Substanzen 1 bis 5 sind von Merck, Darmstadt, die drei Amylalkohole 6 bis 8 von Kahlbaum, Berlin, bezogen.

III. Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten.

1. Die Methode.

Die Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten wurde in gleicher Weise wie bei den Untersuchungen der Herren Specht[1]) und Sultze[2]) nach der von Drude[3]) angegebenen Methode durchgeführt, welche im wesentlichen darauf beruht, daß elektrische Wellen in demselben Kondensator durch verschiedene Dielektrika verschieden reflektiert werden. Der zu den Untersuchungen verwendete Apparat möge im folgenden in Kürze noch einmal beschrieben werden, da sich einiges daran als verbesserungsbedürftig herausstellte.

a) Beschreibung des Apparates.

Zur Erzeugung der elektrischen Wellen war folgende Anordnung getroffen (Vergl. hierzu Tafel I, Fig. 1 a und 1 b):

Fünf Akkumulatoren speisten ein Induktorium, welches eine mit der Primärwickelung eines Teslatransformators verbundene Leydener Flasche auflud. Die Entladung geschah zwischen zwei Zinkstäben. Die in der sekundären Wickelung des Transformators erzeugten Ströme hoher Frequenz sind in dünnen, blanken Kupferdrähten D zu dem Wellenerreger geführt, der die von Blondlot[4]) angegebene Form besitzt. Die Entladung zwischen zwei Zinkkügelchen A, die an zwei halbkreisförmigen Kupferbügeln K befestigt sind, bewirkt hier elektrische Schwingungen, die von einem Lecherschen Drahtsystem E, das durch eine Glimmerplatte C gegen den Erreger isoliert ist, aufgenommen werden.

---

1) Dissertation Halle 1908.
2) Dissertation Halle 1908.
3) Vergl. Anmerkung 1, pag. 7.
4) C. R. 113, pag. 628 (1891).

Zur Erhöhung der Intensität der Wellen taucht der Blondlot-Erreger in ein Gefäß mit Petroleum G. Um das Auge vor dem Licht der Funkenstrecken zu schützen, sind Induktorium und Teslatransformator mit einem starken Pappgehäuse umgeben und die Funkenstrecken selbst noch mit schwarzem Papier abgeblendet. Die Paralleldrähte des Lecherschen Systems E waren ungefähr 8 cm nach dem Austritt aus dem Petroleumgefäß durch einen kurzen Kupferdraht B überbrückt und liefen hinter dieser festen Brücke in zwei Röhrchen R aus, in welche entweder der Lechersche Doppeldraht L, (Fig. 2), zur Bestimmung der Wellenlänge λ des Apparates oder die eigentliche Versuchsanordnung, ein Messingrahmen N mit Glasschlitten und Kondensator, eingefügt wurde. Über den Messingröhrchen R, senkrecht zu ihrem Verlauf und etwa 18 cm hinter der festen Brücke, war eine sehr empfindliche Heliumröhre J, (Fig. 1), mit elektrolytisch eingeführten Kalium[1]) an einem Stativ befestigt. Diese Indikatorröhre spricht an, sobald hinter der festen Brücke stehende Wellen von genügender Stärke auftreten.

Zur Messung der Wellenlänge λ des Apparates dient eine zweite, bewegliche Brücke B′, (Fig. 2), welche an die Stelle eines Knotens im sekundären System gebracht, die Heliumröhre zu einem maximalen Aufleuchten veranlaßt. Es besitzt nämlich das Drahtsystem, der Erreger- und Empfängerkreis bis zur festen Brücke, eine bestimmte Eigenschwingungsdauer, die von den Dimensionen des Sekundärdrahtes bis zur festen Brücke und der Dielektrizitätskonstanten des Petroleums, das denselben teilweise umgibt, abhängig ist. Bei der festen Brücke, dem Orte der Reflexion, tritt ein sogenannter „Knoten“ der elektrischen Kraft auf. Kommt nun die bewegliche Brücke B′ in eine Lage, in welcher die Entfernung von der festen Brücke ein Vielfaches der halben Wellenlänge ist, so wird dieses von beiden Brücken be-

1) Dorn, Annal. d. Phys. IV, Bd. 20, 127 (1906).

grenzte Drahtsystem in Resonanz stehen mit dem Schwingungskreise bis zur festen Brücke. Das stärkste Aufleuchten der Heliumröhre tritt natürlich da ein, wo die Schwingung der Welle am größten ist, also im „Wellenbauch". Die Wellenlänge λ, welche gleich ist der doppelten Entfernung zweier Knotenpunkte, betrug im allgemeinen gegen 78 cm. Kleinere Schwankungen waren dabei unvermeidlich, weil das Erneuern des Petroleumbades, wiewohl es mit einem Heber geschah, doch kleine Verschiebungen des Erregers im Gefolge hatte. Überhaupt ließ sich Wellenlänge und der erste Knotenpunkt durch verschieden tiefes Eintauchen des Erregers in das Petroleum etwas variieren. Daher ist immer die Erneuerung des Bades erst nach Abschluß einer Beobachtungsserie vorgenommen worden.

War nun λ aus den Lagen der Knotenpunkte bestimmt, so wurde die eigentliche Anordnung des Versuchs getroffen, die uns zur Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten einer Substanz führt (Fig. 3). Eine Verbesserung brachte dabei Dr. Sultze[1]) an, durch Verwendung eines Glasschlittens V, in den die Quecksilbernäpfchen Q mit den Kupferdrähten d eingeschmolzen werden konnten. In zwei kleine Öffnungen q konnte dann der Kondensator eingehängt werden und hatte durch das Quecksilber Kontakt mit den in den Messingröhrchen verschiebbaren Kupferdrähten. Dabei mag noch bemerkt werden, daß man die Höhlungen Q mit dem Quecksilber nie ganz ausfüllen darf, weil sonst ein Überlaufen desselben bei den hohen Temperaturen eintritt; ferner ist der Glasschlitten jedesmal vor der Einstellung mit weichem Leder zu reinigen, denn es bildet sich leicht, zumal bei den hohen Temperaturen, am Glase ein Niederschlag, der eine geringe Kapazitätsänderung bewirken kann.

Die Marke für die Einstellung des Schlittens mit Kondensator war zur Vermeidung der Parallaxe in die

1) Dissertation Halle 1908, pag. 16.

Innenseite der Einkerbung des um den Messingmaßstab herum greifenden Teiles des Schlittens eingeätzt.

Zur Erzielung hoher und konstanter Temperaturen diente das im wesentlichen von Dr. Sultze verwendete Heizbad mit dem Öl der Firma A. Schultze & Co. (Halle a.S., Pfännerhöhe).

Um beim Anheizen des Ölbades den Gaszufluß nicht am Brenner regulieren zu müssen, verzweigte ich die Zuleitung des Gases und ließ in dem einen Zweige nur soviel Gas passieren, als für die Konstanz der Temperatur notwendig war, während durch Regulieren des Zuflusses an Gas im andern Zweige die Temperatur beliebig erhöht oder erniedrigt werden konnte. Die Temperaturablesungen geschahen an einem ins Heizbad eingesetzten Hg-Thermometer, und erfuhren wegen der Größe des herausragenden Quecksilberfadens eine Korrektion, zu deren Ermittelung ein zweites Thermometer in halber Höhe des ersteren aufgehängt war. Diese Korrektion ist bei hohen Temperaturen nicht unbeträchtlich, sie beträgt beispielsweise:

bei 200° C etwa 6,5°
bei 175° „ 5,0°
bei 150° „ 3,5° u. s. f.

Um das Heizbad bequem unter den Glasschlitten mit Kondensator und Skala bringen zu können, ist der ganze Apparat um ungefähr 19 cm gehoben. Der Fuß des Heizbadstativs steht auf einer Zinkplatte, um bequem darauf verschoben werden zu können. Die früher angewendete Glasplatte war von der hohen Wärme des eisernen Stativfußes öfter zersprungen. Das Heizbad gestattete es, die Temperatur möglichst lange konstant zu halten. Da nun beim Anheizen die Temperatur sehr langsam stieg, benutzte ich, besonders wegen der leichten Oxydation der ersten drei Substanzen einen Vorwärmer, bestehend aus einem kleinen Becherglas mit Paraffinöl über einem Bunsenbrenner, einem Rührer und Thermometer. Dieser Vorwärmer ließ sich sehr rasch auf eine hohe Temperatur bringen. Die Beobachtungen

wurden bei fallender Temperatur gemacht. Ich ließ daher erst das Heizbad bis auf die gewünschte Temperatur steigen und setzte dann den im Vorwärmer auf dieselbe Temperatur gebrachten Kondensator mit der Substanz ins erstere über.

b) Eichung der Kondensatoren.

Die Kondensatoren, die zur Aufnahme der Substanz dienen, sind kleine Glaskölbchen von $^1/_4$ — $^1/_2$ cm³ Volumen. Sie bieten wegen ihrer Kleinheit den Vorteil raschen Temperaturausgleichs und Substanzersparnis. Die Elektroden sind dünne in die Kölbchen eingeschmolzene Platindrähte, die im Innern des Kölbchens in zwei kreisrunden Platinplättchen von 4 mm Durchmesser enden. Ihr Abstand beträgt etwa 4 bis 5 mm. Er ist so gewählt, dass die Differenz der Einstellung des Kondensators bei Füllung mit einer Substanz und der Einstellung auf die Nullage, die man durch Einlegen eines Kupferbügels von der Form der Kondensatordrähte erhält, noch in das günstige Intervall falle, d. h. annähernd $^1/_8$ betrage, weil dann nach der Theorie[1]) der Fehler der Bestimmung der Dielektrizitätskonstanten ein Minimum wird.

Es fanden für vorliegende Untersuchungen die von Drude[2]) angegebenen Kondensatoren der Form a und b Verwendung (S. Fig. 5, Taf. I). Form a mit kurzen Zuleitungsdrähten dient für Versuche bei Zimmertemperatur, Form b hat längere Drähte, um ins Heizbad gehängt werden zu können.

Das Eichen dieser Kondensatoren zur Bestimmung ihrer Kapazitäten geschieht in folgender Weise:

Die Kapazität eines Kondensators, der mit einer Substanz der Dielektrizitätskonstanten ε gefüllt ist, setzt sich additiv aus zwei Werten δ_0 und $\varepsilon\delta$ zusammen. Während δ_0 für jeden speziell gewählten Kondensator konstant

1) Drude, Wied. Anm. 61, pag. 483ff. (1897).
2) Wied. Anm. 61, pag. (4897).

ist, ist δ proportional mit der Dielektrizitätskonstante der Füllflüssigkeit, d. h. es gilt, wenn C' die Gesamtkapazität bedeutet, mit genügender Annäherung die Gleichung:

$$C' = \delta_0 + \varepsilon\,\delta\,.$$

Die gewählte Form der Kondensatoren entspricht nämlich zwei im Nebenschluß liegenden Kapazitäten, von denen die erste (δ_0) die Kapazität derjenigen Stücke der Kondensatordrähte ist, die im äußeren Luftraume und in der Glaswand des Kölbchens liegen, während die zweite Kapazität ($\varepsilon\delta$) diejenige der im Innenraume des Kölbchens liegenden Platinteile bedeutet, die proportional zur Dielektrizitätskonstanten der Füllflüssigkeit wächst. Für Kondensatoren derselben äußeren Form ist δ_0 nahezu gleich groß, dagegen hängt δ von der Größe und dem Abstande der Elektrodenplättchen ab und ist für die einzelnen Kondensatoren verschieden. Zur Bestimmung beider Konstanten δ_0 und δ werden die Kondensatoren mit Eichflüssigkeiten beschickt.

Als „Nullage" des Apparates bezeichnet man die Einstellung auf intensives Leuchten, die ein statt des Kondensators in den Glasschlitten eingesetzter Kupferdraht ergibt, dessen Form mit derjenigen der Kondensatordrähte übereinstimmt. Bedeutet nun l die Verschiebung, d. h. die Differenz der Einstellung des mit Eichflüssigkeit gefüllten Kondensators auf hellstes Leuchten und der Einstellung auf die Nullage, so gilt für die Größen l, λ, ε, δ und δ_0 nach der Theorie mit großer Annäherung die Gleichung:

$$b = \operatorname{ctg}\left(\frac{2\,\pi\,l}{\lambda}\right) = \varepsilon\delta + \delta_0\,.$$

Das Eichen geschieht nun dadurch, daß man den mit Eichflüssigkeit gefüllten Kondensator auf maximales Leuchten einstellt und das zugehörige l bestimmt.

Durch Beschickung des Kondensators mit Eichflüssigkeiten verschiedener, bekannter Dielektrizitätskonstanten „ε" lassen sich beliebig viele Gleichungen zur Ermittelung von δ und δ_0 aufstellen, sobald der Wert für $b = \operatorname{ctg}\left(\frac{2\,\pi\,l}{\lambda}\right)$ für

die einzelnen Eichflüssigkeiten bestimmt ist. Für den Kondensator der Form a, der nur in Luft geeicht wurde, war bei meinen Versuchen:

$$\delta = 0{,}085,$$
$$\delta_0 = 0{,}066.$$

Für den Kondensator der Form b, der in Luft und im Heizbad geeicht war, ergab sich

in Luft:
$$\delta = 0{,}153,$$
$$\delta_0 = 0{,}135,$$

im Heizbad:
$$\delta = 0{,}155,$$
$$\delta_0 = 0{,}386.$$

Für einen zweiten Kondensator der Form b ergab sich beim Eichen

in Luft:
$$\delta = 0{,}129,$$
$$\delta_0 = 0{,}216$$

im Ölbad:
$$\delta = 0{,}130,$$
$$\delta_0 = 0{,}438.$$

Um nun prüfen zu können, ob b, δ und δ_0 richtig gefunden sind, stellt man die Gleichung:

$$b = \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right) = \varepsilon\delta + \delta_0$$

als Kurve dar; b sei die Abszisse und ε die Ordinate. Da b eine lineare Fuktion von δ ist, — δ und δ_0 sind Konstanten — ist die Kurve eine Gerade, was die graphische Darstellung[1]) bestätigt.

Sind auf diese Weise für einen Kondensator δ und δ_0 ermittelt, so läßt sich daraus und aus der Verschiebung l umgekehrt die Dielektrizitätskonstante ε einer beliebiger Füllflüssigkeit berechnen.

Als Eichflüssigkeiten dienten Aceton und Benzol sowie Mischungen beider, deren Dielektrizitätskonstanten von Drude durch direkte Messung der Wellenlänge in diesen

1) Vergl. die beigefügten Kondensatorkurven (Tafel II).

Eichflüssigkeiten bestimmt wurden und aus seinen Angaben[1]) entnommen worden sind. In der nachstehenden Tabelle bedeutet p den Prozentgehalt der Lösung an Aceton, ε' die Dielektrizitätskonstante derselben bei 19° C und $\Delta\varepsilon'$ die prozentuale Abnahme von ε' für jeden Grad Temperaturerhöhung.

Angaben Drudes:

p % Aceton	ε' bei 19° C	$\Delta\varepsilon'$
0 %	2,26	0,1 %
5,3 %	2,96	0,2 %
9,8 %	3,56	0,3 %
20,0 %	5,09	0,3 %
31,0 %	6,90	0,4 %
40,0 %	8,43	0,4 %
49,5 %	10,20	0,5 %
69,4 %	14,30	0,5 %
84,7 %	17,30	0,5 %
100,0 %	20,50	0,6 %

Da die von mir hergestellten Eichflüssigkeiten im Prozentgehalt und auch bei der Untersuchung in der Temperatur nicht genau mit den eben erwähnten übereinstimmten, machte sich an dem von Drude ermittelten ε' eine doppelte Korrektion notwendig. Es ist in der folgenden Tabelle mit ∂p die aus dem Prozentgehalt, mit ∂t die aus der Temperatur entstehende Korrektion für ε' bezeichnet; die Temperatur betrug 17° C.

Um während der Eichung die Mischungen gut auf demselben Prozentsatz erhalten zu können, wurden die Aufbewahrungsgefäße, kleine Glaskolben, fest verkorkt und über den Hals des Kölbchens ein enges Becherglas gestülpt, das wieder mit Paraffin an die Wölbung des Kölbchens gekittet war. Es konnte dadurch die Eichflüssigkeit an raschem Verdampfen gehindert werden.

1) Wiedem. Anm. 61, pag. 496 (1897).

Zum Eichen verwendete Mischungen.

Nr. d. Lösg.	p % Aceton	δp	δt	ε bei 17° C
0.	rein. Benzol	—	0,004	2,264
1.	5,30	—	0,006	2,966
2.	9,89	0,013	0,011	3,584
3.	20,28	0,048	0,015	5,153
4.	31,03	0,005	0,028	6,933
5.	40,01	0,002	0,032	8,464
6.	49,54	0,008	0,051	10,259
7.	69,42	0,004	0,071	14,376
8.	84,73	0,006	0,087	17,393
—	rein. Aceton	—	0,123	20,623

Die Kondensatoren der Form b wurden, um den Einfluß des Heizbades auf die Kapazität festzustellen, in Luft und im Ölbad geeicht.

Es stellte sich dabei heraus, daß die Konstante der inneren Kapazität δ fast unverändert blieb, während δ_0 eine bedeutende Vergrößerung erfuhr,[1]) was sich in der graphischen Darstellung durch eine Parallelverschiebung der Kondensatorkurve, wie aus der beigefügten Zeichnung[2]) ersichtlich ist, deutlich kundgibt.

c) Beobachtung der Absorption.

Benzol und Aceton und die Mischungen beider, die als Eichflüssigkeiten Verwendung fanden, sind absorptionsfrei. Das ist aber nur bei wenigen Substanzen der Fall. Auch die untersuchten Substanzen besitzen Absorption, was sich in einem schlechteren Ansprechen der Indikatorröhre zeigt. Nach Drude rührt die Absorption zum Teil von der Leitfähigkeit der Flüssigkeit her, zum andern Teil aber von einem Mitschwingen der Atome im Molekül (molekulare Absorption).

Wenn ϱ das Verhältnis der Amplitude der am Kondensator reflektierten Welle zur Amplitude der einfallenden Welle bezeichnet, so berechnet sich:

1) Vergl. pag. 15.
2) Vergl. Tafel II.

$$\varrho^2 = \frac{a^2 + b^2 + 1 - 2a}{a^2 + b^2 + 1 + 2a},$$ [1])

worin $a = 2 \cdot 3 \cdot 10^{10} \cdot \sigma \cdot \lambda \delta,$ [2])

und $b = \varepsilon \delta + \delta_0.$

Die Größe ϱ hängt demnach ab:

1. von der Kapazität des Kondensators,
2. von der Dielektrizitätskonstanten ε der Flüssigkeit,
3. von der Wellenlänge λ und
4. von der Leitfähigkeit σ der Substanz, gemessen im elektromagnetischen Maße.

Die Intensität des Leuchtens der Heliumröhre kann nur durch die Größe ϱ bedingt sein, denn je stärker die Absorption, desto kleiner wird — ceteris paribus — die resultierende Amplitude der stehenden Welle sein. Zur Bestimmung der Größe der Absorption wird die Intensität des maximalen Leuchtens bei Füllung des Kondensators mit der zu untersuchenden Substanz verglichen mit derjenigen bei Füllung mit einer „Vergleichslösung" von bekannter Leitfähigkeit. Da nun diese beiden Beobachtungen zeitlich auseinander liegen, wurde zur Erzielung eines möglichst objektiven Wertes für die Intensität des Leuchtens folgender Weg eingeschlagen:

Durch Drehen einer Fußschraube des Stativs für die Indikatorröhre konnte diese bequem in einer zu den Sekundärdrähten senkrechten Ebene gehoben und gesenkt werden. Nachdem für den Kondensator die Stelle hellsten Aufleuchtens der Röhre ermittelt ist, wird diese vorsichtig solange gehoben, bis das Leuchten eben verschwindet. Dann wird der Abstand der Röhre von den Sekundärdrähten verglichen mit demjenigen, der sich bei gleicher Anordnung aus den Vergleichslösungen mit bekanntem ϱ ergibt.

Das Messen des Abstandes der Röhre von den Drähten geschah früher dadurch, daß ein Keil zwischen Röhre und

1) Drude, Wiedem. Ann. 61, pag. 478 (1897).
2) Drude, Wiedem. Ann. 61, pag. 488 (1897).

Drahtsystem geschoben wurde; aus dem Berührungspunkte der Röhre mit dem Keil und der in mm eingeteilten Seite des Keils bestimmte sich die Entfernung.

Bei meinen Untersuchungen traf ich statt dieser Anordnung eine andere. Ein kleiner mit Klebwachs am Ende der Heliumröhre angebrachter Zeiger Z (Fig. 1a und 1b) aus schwarzem Papier spielte auf einer aufrecht stehenden Millimeterskala M. Es wurde dadurch eine bedeutend schnellere Ablesung erzielt als durch das Einsetzen des Keils, wobei leicht kleine Verrückungen der Röhre und Drähte vorkommen konnten, die eine auf Zehntelmillimeter genaue Ablesung schädigten, abgesehen davon, daß die Berührung von Röhre und Skala des Keils keinen scharfen Punkt ergeben konnte. Das System brauchte bei der getroffenen Verbesserung nicht berührt zu werden und lieferte Einstellungen von höchstens 0,2 mm Differenz.

Bei den Einstellungen des Kondensators auf maximales Leuchten differierten die Werte im allgemeinen bis höchstens 0,3 mm, was bei drei Ablesungen, aus denen das Mittel genommen wurde, einen nur .geringen Fehler in der Berechnung der Dielektrizitätskonstanten (ca. 3%) ergab.

Als Vergleichslösungen zur Bestimmung der Absorption dienten Kochsalzlösungen, deren ϱ^2 aus ihrer Leitfähigkeit σ nach der Formel:

$$\varrho^2 = \frac{a^2 + b^2 + 1 - 2a}{a^2 + b^2 + 1 + 2a}$$

zu berechnen ist. Dabei ist (cf. pag. 18) für a und b zu setzen:

$$a = 2 \cdot 3 \cdot 10^{10} \sigma \lambda \delta$$
$$b = \varepsilon\delta + \delta_0$$

Die Leitfähigkeit σ ergibt sich nach den Angaben Drudes[1]) aus dem Prozentgehalt der Lösung.

Da die Formel:

$$b = \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right) = \varepsilon\delta + \delta_0$$

1) Wied. Ann. 61, pag. 501 (1897).

nur für Substanzen ohne Absorption gilt, muß sie bei absorbierenden Substanzen eine Veränderung erfahren. Sie geht dann nach der Theorie [1]) in die Form über:

$$b = \frac{2\varrho \sin\left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)}{1+\varrho^2-2\varrho\cos\left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)} = \varepsilon \cdot \delta + \delta_0.$$

Ist $\varrho = 1$, fehlt also die Absorption, so erhalten wir wieder die einfachere Formel.

d) Ausführung der Untersuchungen.

Ein in der angeführten Weise geeichter Kondensator der Form b wurde mit der zu untersuchenden Substanz beschickt. Nachdem Wellenlänge und Nullstelle des Apparates bestimmt waren, wurde der Kondensator aus dem Vorwärmer in das inzwischen auf die gewünschte Temperatur gebrachte Heizbad übergesetzt. Beobachtet wurde bei fallender Temperatur, was sich bei den Versuchen für das Konstanthalten der Temperatur des Heizbades als vorteilhafter erwies. Bei einiger Übung war dieses Konstanthalten auch nicht allzu schwierig. Aus den wenig verschiedenen Temperaturen, deren Differenz 2^0 nicht überstieg, wurde dann das Mittel genommen, was umsomehr gestattet ist, als die Temperaturablesungen in nahezu gleichen Zeitintervallen gemacht wurden und der Wärmeaustausch zwischen Heizbad und Kondensator mit einer gewissen Trägheit vor sich geht, wobei die Temperaturschwankungen im Innern des Kölbchens noch geringer als im Ölbad sein werden. Es wurde nun der Ort des maximalen Leuchtens für dieselbe Temperatur dreimal bestimmt und das Mittel aus diesen drei Stellungen — von der Nullstelle an gerechnet — als die Verschiebung „l" bezeichnet. Die Stelle des hellsten Leuchtens wurde in der Weise bestimmt, daß die Einstellung auf Verschwinden desselben nach beiden Seiten für ein kleines Intervall (2—3 cm)

1) Wied. Ann, 61, pag. 493 (1897).

beobachtet wurde. Das Mittel ergibt dann einen ziemlich objektiven Wert. Auf diese mittlere Einstellung wurde der Kondensator, natürlich bei gleicher Temperatur, gebracht und die Heliumröhre langsam gehoben, bis das Ansprechen derselben aufhörte. Der Abstand der Röhre von den Paralleldrähten gibt also ein relatives Maß der Amplitude an. Entsprechend wurde der Röhrenabstand bei zwei Kochsalzlösungen ermittelt, die so gewählt waren, daß die Substanz bezüglich der Intensität des Leuchtens der Indikatorröhre gerade zwischen ihnen lag. Durch Interpolation zwischen die für die Kochsalzlösungen berechneten ϱ^2 wurde dann das ϱ^2 der Substanz und mithin ihr ϱ gefunden.

Waren also nach dieser Methode die Größen δ_0, δ, l, λ und ϱ bestimmt, so folgte aus ihnen die Dielektrizitätskonstante nach der auf Seite 20 angeführten Formel:

$$b = \frac{2\varrho \sin\left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)}{1 + \varrho^2 - 2\varrho \cos\left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)} = \varepsilon\delta + \delta_0$$

als:

$$\varepsilon = \frac{2\varrho \sin\left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)}{1 + \varrho^2 - 2\varrho \cos\left(\frac{4\pi l}{\lambda}\right)} \cdot \frac{1}{\delta} - \frac{\delta_0}{\delta}$$

Diese Formeln behalten auch ihre Geltung für Substanzen mit anomaler Absorption.[1])

1) Wied. Ann. 61, pag. 495 (1897).

2. Die Ergebnisse.

Nachstehend sind die Werte der Dielektrizitätskonstanten zusammengestellt.

Brenzkatechin.

1. Serie:

bei t° C	Diel. Konst.	Zustand
173,2°	11,981	flüssig
168,4°	12,207	„
161,0°	12,540	„
152,6°	13,054	„
144,5°	13,575	„
137,8°	14,002	„
132,4°	14,363	„
126,1°	14,779	„
119,5°	15,233	„
112,5°	15,876	„
109,2°	16,354	„
105,0°	17,214	„
103,5°	3,426	fest
80,4°	3,195	„
20,6°	2,786	„

2. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
197,3°	10,872	flüssig
189,6°	11,204	„
182,0°	11,816	„
177,5°	11,904	„
171,0°	12,187	„
164,9°	12,342	„
159,2°	12,661	„
147,1°	13,405	„
142,6°	13,710	„
133,4°	14,283	„
126,2°	14,786	„
121,0°	15,132	„
117,5°	15,422	„
111,2°	16,084	„
107,8°	16,554	„
105,3°	17,006	„

3. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
176,4°	11,836	flüssig
163,9°	12,403	„
154,6°	12,924	„
147,2°	13,421	„
139,0°	13,911	„
128,6°	14,600	„
121,2°	15,092	„
116,1°	15,504	„
107,7°	16,582	„
91,6°	3,272	fest
83,2°	3,184	„
71,4°	3,105	„
60,9°	3,022	„
54,7°	2,981	„
45,9°	2,927	„
36,8°	2,845	„
28,8°	2,763	„

Resorcin.

1. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
202,4°	9,225	flüssig
196,8°	9,404	„
187,2°	9,708	„
179,5°	9,826	„
171,4°	10,031	„
166,4°	10,261	„
151,8°	10,714	„
142,3°	11,367	„
136,6°	11,743	„
127,5°	12,275	„
119,7°	12,682	„
117,3°	12,744	„
112,8°	12,780	„
111,2°	12,921	„

2. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
173,1°	10,093	flüssig
168,6°	10,201	„
155,4°	10,634	„
145,8°	11,156	„
137,3°	11,682	„
125,6°	12,378	„
117,6°	12,745	„
112,1°	12,905	„
104,7°	3,568	fest
93,0°	3,482	„
85,2°	3,413	„
69,6°	3,341	„
41,5°	3,194	„
22,1°	3,126	„

3. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
184,7°	9,756	flüssig
176,2°	10,013	„
167,4°	10,238	„
153,1°	10,746	„
145,0°	11,224	„
138,7°	11,612	„
125,6°	12,387	„
121,3°	12,590	„
116,5°	12,821	„
112,2°	12,893	„
112,0°	12,885	„
105,7°	3,602	fest
90,6°	3,474	„
84,2°	3,427	„
73,6°	3,381	„
51,7°	3,261	„
39,6°	3,192	„
31,4°	3,143	„

Hydrochinon.

1. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
195,2°	9,221	flüssig
187,4°	9,545	„
183,2°	9,681	„
176,5°	9,802	„
171,4°	9,873	„
166,1°	3,584	fest
157,9°	3,446	„
141,6°	3,312	„
130,4°	3,223	„
112,9°	3,146	„
104,7°	3,098	„
90,2°	3,021	„

2. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
227,9°	7,413	flüssig
221,8°	7,673	„
216,5°	7,985	„
210,2°	8,342	„
205,7°	8,574	„
197,9°	9,046	„
189,3°	9,497	„
182,6°	9,702	„
178,5°	9,773	„
176,4°	9,801	„
170,7°	9,882	„
168,5°	3,672	fest
166,6°	3,594	„
157,2°	3,423	„
120,8°	3,196	„

3. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
223,1°	7,624	flüssig
217,0°	7,953	„
208,4°	8,433	„
195,6°	9,175	„
187,6°	9,547	„
179,4°	9,772	„
172,5°	9,863	„
167,7°	3,510	fest
144,3°	3,336	„
136,6°	3,285	„
123,4°	3,196	„
112,2°	3,120	„
104,5°	3,189	„
90,1°	3,026	„
20,2°	2,764	„

α-Naphtol.

1. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
193,6°	3,780	flüssig
184,2°	3,882	„
167,5°	3,987	„
159,6°	4,051	„
151,0°	4,103	„
141,9°	4,163	„
134,3°	4,226	„
124,5°	4,286	„
112,2°	4,373	„
104,6°	4,465	„
95,6°	4,524	„
86,2°	3,098	fest
77,4°	3,104	„
70,1°	3,046	„
20,4°	2,947	„

2. Serie.

t°	Diel. Konst.	Zustand
172,4°	3,961	flüssig
166,7°	4,021	„
153,6°	4,083	„
144,5°	4,146	„
137,6°	4,192	„
129,3°	4,247	„
117,7°	4,338	„
109,5°	4,398	„
101,0°	4,502	„
96,2°	4,531	„
92,7°	3,172	fest
65,3°	3,035	„
52,6°	3,020	„
44,7°	2,998	„
36,4°	2,985	„

3. Serie.

t°	Diel. Konst.	Zustand
182,3°	3,887	flüssig
173,7°	3,946	„
164,5°	4,024	„
152,5°	4,102	„
145,3°	4,149	„
138,4°	4,184	„
127,6°	4,261	„
119,4°	4,335	„
112,3°	4,367	„
104,4°	4,463	„
97,2°	4,503	„
89,6°	3,103	fest
76,4°	3,051	„
68,2°	3,037	„
51,2°	3,016	„
44,6°	2,994	„
33,9°	2,978	„
26,2°	2,962	„

β-Naphtol.

1. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
202,6°	4,032	flüssig
195,4°	4,124	„
190,7°	4,150	„
182,4°	4,242	„
173,2°	4,301	„
165,6°	4,340	„
154,9°	4,386	„
147,3°	4,428	„
132,3°	4,491	„
126,2°	4,523	„
123,4°	4,542	„

2. Serie.

t°	Diel. Konst.	Zustand
193,6°	4,142	flüssig
184,2°	4,227	„
177,5°	4,276	„
170,2°	4,317	„
166,4°	4,348	„
153,5°	4,399	„
146,0°	4,431	„
137,8°	4,470	„
131,2°	4,498	„
126,5°	4,526	„
124,2°	4,553	„
119,8°	3,246	fest
112,7°	3,237	„
102,4°	3,195	„
95,6°	3,178	„
82,1°	3,149	„
69,4°	3,125	„
57,3°	3,098	„
43,3°	3,072	„
19,5°	3,024	„

3. Serie:

t°	Diel. Konst.	Zustand
175,4°	4,282	flüssig
167,5°	4,327	„
158,5°	4,372	„
150,2°	4,416	„
143,7°	4,438	„
137,6°	4,467	„
131,2°	4,492	„
129,2°	4,513	„
126,1°	4,526	„
122,9°	4,518	„
118,6°	3,247	fest
107,2°	3,227	„
56,3°	3,102	„
45,9°	3,076	„
37,5°	3,054	„
29,4°	3,048	„
21,5°	3,017	„

Isobutylcarbinol.

1. Serie:		2. Serie:		3. Serie:	
t°	Diel. Konst.	t°	Diel. Konst.	t°	Diel. Konst.
128,2°	5,499	122,5°	5,663	119,7°	5,751
117,0°	5,825	118,3°	5,776	111,5°	5,949
109,5°	6,121	112,4°	5,935	104,3°	6,240
97,5°	6,472	98,6°	6,527	96,3°	6,648
85,4°	7,213	87,3°	7,124	87,9°	7,085
71,2°	7,986	80,2°	7,485	83,2°	7,336
62,0°	8,465	74,6°	7,750	73,8°	7,847
51,7°	9,043	66,9°	8,201	65,7°	8,271
47,3°	9,220	55,2°	8,836	51,5°	9,048
41,8°	8,946	49,7°	9,148	40,2°	8,661
36,3°	7,873	41,4°	8,892	34,3°	7,568
23,8°	6,204	37,5°	8,101	29,1°	6,840
18,8°	5,763	30,5°	7,033	25,2°	6,363
18,0°	5,689	26,8°	6,547	19,7°	5,837
18,0°	5,668	22,6°	6,098		

Methylpropylcarbinol.

1. Serie:

t°	Diel. Konst.
118,0°	5,036
113,4°	5,045
105,2°	5,150
97,5°	5,348
90,6°	5,582
83,2°	5,913
74,7°	6,361
69,3°	6,772
61,6°	7,125
54,4°	7,251
47,2°	7,273
41,6°	7,249
38,5°	7,188
19,5°	6,093

2. Serie:

t°	Diel. Konst.
116,6°	5,028
109,4°	5,072
102,3°	5,154
93,8°	5,383
87,5°	5,711
81,9°	5,973
75,6°	6,302
67,3°	6,895
58,3°	7,202
43,7°	7,263
40,2°	7,226
34,3°	7,058
30,3°	6,853
27,6°	6,712
24,0°	6,463
19,3°	6,074

3. Serie:

t°	Diel. Konst.
109,7°	5,068
101,5°	5,237
94,3°	5,460
87,6°	5,689
78,5°	6,150
70,3°	6,692
62,4°	7,098
51,6°	7,271
44,9°	7,274
32,8°	6,981
24,7°	6,503

Dimethyläthylcarbinol.

1. Serie:		2. Serie:		3. Serie:	
t°	Diel. Konst.	t°	Diel. Konst.	t°	Diel. Konst.
100,3°	4,472	99,5°	4,510	101,9°	4,432
97,0°	4,645	93,5°	4,739	94,8°	4,682
85,6°	4,952	87,2°	4,913	87,6°	4,901
77,7°	5,123	80,4°	5,067	79,9°	5,081
68,2°	5,249	73,7°	5,180	73,4°	5,176
47,2°	5,398	68,3°	5,249	68,2°	5,248
41,0°	5,536	61,6°	5,302	63,5°	5,282
36,7°	5.621	53.8°	5,352	60,2°	5,315
31,5°	5,683	49,4°	5,380	56,5°	5,347
26,2°	5,728	42,9°	5,491	49,7°	5,382
20,2°	5,678	37,0°	5,625	42,4°	5,502
		31,3°	5,692	36,8°	5,633
		24,4°	5,647	31,2°	5,691
				29,4°	5,728

3. Erörterung des Verlaufs der Kurven.

Brenzkatechin, Resorcin, Hydrochinon.

Wie aus den beigegebenen Kurven (Tafel III) ersichtlich ist, folgen diese drei Substanzen dem gewöhnlichen Gesetze für die Abhängigkeit der Dielektrizitätskonstanten von der Temperatur, wonach die Dielektrizitätskonstante bei zunehmender Temperatur für den festen Zustand wächst, für den flüssigen abnimmt. Im Schmelzpunkt erleidet die Kurve eine Diskontinuität, indem sie von einem kleinen Werte auf einen beträchtlich höheren springt. Bei Brenzkatechin tritt ein Sprung auf von 3,5 bis 17,3; auch beim Resorcin und Hydrochinon ist die Diskontinuität ganz offensichtlich. Brenzkatechin zeigt unmittelbar über dem Schmelzpunkte einen stärkeren Abfall der Kurve und etwas größere Absorption. Im weiteren Verlauf nähert sich die Kurve fast einer Geraden; die Absorption ist von gleicher Größe wie bei Resorcin und Hydrochinon und der Absorptionsindex[1]) betrug dabei im Mittel etwa 0,038. Die drei Isomere zeigen also eine geringe Leitfähigkeit, die im festen Zustande zu einem Minimum wird.

α-Naphtol und β-Naphtol.[2])

Die Dielektrizitätskonstante beider Naphtole ist ebenso wie die der drei ersten Substanzen von einander verschieden. Im festen Zustande ist ein merkliches Wachsen, im flüssigen eine Abnahme des ε bei den Naphtolen charakteristisch, ebenso weisen beide Kurven beim Schmelzpunkt deutlich einen Sprung auf. Die Absorption beider Substanzen ist gering und im flüssigen Zustand wenig kleiner als im festen. Ich habe den Absorptionsindex in seiner Abhängigkeit von der Temperatur nicht besonders bestimmt, weil dabei nichts Neues zutage tritt, er war im Mittel etwa: 0,040 für den festen und 0,035 für den flüssigen Zustand.

1) Vergl, Drude, Wied. Ann. 61, 1897 pag. 494, Anm. 1.
2) Tafel IV.

Bei den untersuchten Substanzen ist im Verlaufe der Kurve der Dielektrizitätskonstanten ein auffälliger Sprung im Schmelzpunkte festgestellt. Dieselbe Diskontinuität dürfte sich wohl bei den meisten Substanzen beim Übergange vom festen in den flüssigen Aggregatzustand und umgekehrt nachweisen lassen. Sie ist auch für die Übergänge von einer Modifikation in eine andere bei den flüssigen Kristallen beobachtet worden.[1]) Es trifft also hier — wenigstens für die vorliegenden Substanzen — das von J. Hattwich (Wien. Ber. 117, IIa, S. 903–909, 1908) gefundene Ergebnis, wonach beim Übergange von der festen zur flüssigen Form die Dielektrisitätskonstante sich kontinuierlich ändere, keinesfalls zu. Die von Hattwich untersuchten Substanzen: Schwefel, Paraffin, Kolophonium, Naphtalin und Phenantren — zeigen auch in den beiden Zuständen keine große Verschiedenheit in der Größe der Dielektrizitätskonstanten, sodaß die Diskontinuität nicht so zu Tage treten kann.

Zu beachten ist außerdem, daß die Substanz nicht in ihrer ganzen Ausdehnung gleichzeitig von einer Phase in die andere übergeht. Schwefel zeigt überdies im festen Zustande ein größeres ε als im flüssigen. Bei den meisten Substanzen ist das Umgekehrte der Fall, ε ist im flüssigen Zustande bedeutend größer als im festen. Tritt das Erstarren der Substanz ein, dann ändert sich — für die in vorliegender Arbeit untersuchten Substanzen geschah es momentan — ebenso rasch auch die Dielektrizitätskonstante.

Beweise für eine solche Diskontinuität sind z. B. die Beobachtungen,[2]) daß beim Amylalkohol bei — 117°C. also beim Schmelzpunkt die Dielektrizitätskonstante von 32,85 auf 2,4 sinkt. Beim Methylalkohol ist der Sprung des ε noch größer, von 64,2 auf 3,07 bei — 113°C. Jedenfalls ist bei den fünf untersuchten Substanzen, deren Dielektrizitätskonstanten bis nahe an den Schmelz- bezw. Erstarrungspunkt beobachtet wurden, der Sprung ein augenfälliger.

1) Vergl. die unter 1) und 2) pag. 5 zitierten Arbeiten,

2) Abegg und Seitz: Zeitschr. f. phys. Chemie 29, S. 242 (1899).

Isobutylcarbinol, Methylbropylcarbinol, Dimethyläthylcarbinol wurden nur im flüssigen Zustande untersucht und zwar zwischen etwa 18° und ihrem Siedepunkte. Dabei zeigte sich ein eigenartiges Verhalten der Dielektrizitätskonstanten.[1]) Dieselbe nimmt erst mit zunehmender Temperatur zu, erreicht einen maximalen Betrag und sinkt dann allmählich wieder. Dieser Maximalwert liegt für Isobutylcarbinol etwa bei 46,5° und beträgt gegen 9,25, für Methylpropylcarbinol bei 47,5 und ist 7,28; für Dimethyläthylcarbinol ist ein Maximum kaum zu konstatieren, weil die ε-Werte zwischen 20° und 30° fast in eine Horizontale fallen, da sie nahezu gleich sind. Jedenfalls aber ist für Isobutylcarbinol und Methylpropylcarbinol das Steigen und Fallen etwas Eigenartiges. Eigentümlich ist auch ihre Absorption. Ein fast analoges Verhalten zeigen nach P. Drude (Wied. Ann. 61, pag. 510) Benzolmalonsäureester und Aconitsäureester, welche ein Maximum der Dielektrizitätskonstanten bei 35°C aufweisen. Während Dimethyläthylcarbinol ein fast regelmäßiges Verhalten zeigt, ist bei den beiden andern Amylalkoholen, die untersucht wurden, die Absorption bei Zimmertemperatur so groß, daß die Heliumröhre nur äußerst schwach anspricht und ein Vergleich mit dem Aufleuchten derselben bei einer Salzlösung ausgeschlossen ist.

Die meisten Alkohole besitzen nämlich eine Absorption, wie sie nicht aus ihrem elektrischen Leitvermögen gefolgert werden kann. Bei gewissen Alkoholen ist sogar, wie Drude[2]) sagt, das Absorptionsvermögen für elektrische Schwingungen, roh geschätzt, ebenso groß als das einer wässrigen Kupfersulfatlösung von 20 000 mal größerer Leitfähigkeit. Dies Verhalten nennt Drude elektrische Anomalie.[3]) Da die Leitfähigkeit der Amylalkohole so gering ist, kommt sie für die Berechnung des ε gar nicht in Betracht. Die elektrische Anomalie setzt sich zusammen aus anomaler Absorption

1) Vergleiche die graph. Darstellung Tafel V.
2) Wied. Ann. 60, peg. 500ff. (1897).
3) Wied. Ann. 55, pag. 652ff. (1895) u. Wied. Ann. 58, pag. 1 ff. (1896).

und anomaler Dispersion.[1]) Die anomale Dispersion besteht darin, daß der Brechungsexponent der elektrischen Schwingungen (d. h. das Verhältnis der Wellenlänge in Luft zur Wellenlänge im Körper) zum Teil sehr stark mit der Schwingungsdauer variiert und zwar in der Weise, daß er für schnellere Schwingungen kleiner ist als für langsamere. Auch A. D. Cole[2]) fand unabhängig von Drude und auf einem andern Wege (Methode der Reflexionsintensität) eine starke Absorption und Dispersion beim Äthylalkohol für noch kürzere Wellen als sie Drude verwendete. Drude setzte diese elektrische Anomalie auf Rechnung des Molekulargewichtes.[3]) Darnach wird die anomale Absorption und Dispersion für bestimmte Schwingungsgebiete größer und in hohem Grade intensiver, je höher das Molekulargewicht ist, d. h. je komplizierter das Molekül gebaut ist. Kompliziertere Moleküle besitzen demnach langsamere Eigenschwingung als einfachere. Später[4]) gibt Drude als Grund für die elektrische Anomalie die konstitutive Eigenschaft der Substanz an und macht die Hydroxylgruppe im Molekül dafür verantwortlich. Diese Annahme hat sich durch meine Beobachtung nicht bestätigt, denn auch die andern untersuchten Substanzen: Brenzkatechin, Resorcin und Hydrochinon besitzen die OH-Gruppe und zeigen eine nur geringe normale Absorption. Die Heliumröhre leuchtete hell und häufig auf. Auch mit der Temperatur änderte sich die Amplitude der Welle fast unmerklich. Das war aber bei dem Isobutylcarbinol nicht der Fall. Hier stieg die Höhe der Amplitude bei zunehmender Temperatur ganz bedeutend und erreichte bei genügender Temperatur fast die Höhe der Amplitude der absorptionsfreien Eichflüssigkeiten. Auch das Aufleuchten der Indikatorrröhre war dann ein sehr intensives. Ich gebe im folgenden eine Zusammenstellung für die bei den ver-

1) Wied. Ann. 60, pag. 500 (1897).
2) A. D. Cole, Wied. Ann. 57, pag. 290 (1896).
3) Drude, Wied. Ann. 58, pag. 1 ff. (1896).
4) Drude, Wied. Ann. 60, pag. 501 ff. (1897).

schiedenen Temperaturen öfter und mit großer Genauigkeit übereinstimmend beobachteten Werte.

Abstand der Indikatorröhre in mm:

t° C	Für Isobutylc.	Für Methylpr.	Für Dimethyläth.	Für Benzol
100°	24,0 mm	27,3 mm	27,2 mm	—
90°	21,8 „	24,8 „	26,5 „	—
80°	19,6 „	22,5 „	25,9 „	—
70°	17,3 „	21,0 „	25,2 „	—
60°	16,0 „	17,9 „	24,6 „	—
50°	12,6 „	15,3 „	23,8 „	—
40°	10,3 „	12,1 „	21,2 „	—
30°	8,1 „	10,2 „	18,4 „	—
20°	6,2 „	8,4 „	15,7 „	29,1

Bei 128° war der Röhrenabstand für Isobutylcarbinol 27,8 mm, bei 118° für Methylpropylcarbinol 28,8 mm, gegen denjenigen des absorptionsfreien Benzols bei 18° (29,0 mm) kein nennenswerter Unterschied. Man sieht also aus der Beziehung zwischen Amplitude der Welle und Temperatur, daß mit steigender Temperatur die Größe der Amplitude in fast gleichen Beträgen zunimmt. Die Absorption ist also von der Temperatur sehr stark abhängig, und zwar derartig, daß sie kleiner wird, wenn die Temperatur steigt. Die OH-Gruppe ist nach meinem Dafürhalten für die große Absorption der Amylalkohole bei gewöhnlicher Temperatur nicht maßgebend, da sie doch bei steigender Temperatur nicht aus der Substanz verschwindet und bei den Phenolen keine Unregelmäßigkeit bedingt.

4. Verschiedenheit der Dielektrizitätskonstanten von Isomeren.

Alle Bestimmungen der Dielektrizitätskonstanten von Isomeren zeigen, daß ein Unterschied der Konstanten bei gleicher Temperatur und gleicher Wellenlänge besteht. Dieser

Unterschied zeigt sich nicht nur im festen, sondern viel stärker und ausgeprägter im flüssigen Zustande, wo auch die Temperaturabhängigkeit für jede Substanz eine verschiedene ist. In der folgenden Tabelle will ich eine Zusammenstellung der schon untersuchten Dielektrizitätskonstanten von Isomeren geben; die Werte sind den Tabellen von Landolt-Börnstein entnommen. Es ist interessant, die Differenzen bei den einzelnen Isomeren zu verfolgen.

(t^0 = Temperatur, λ = Wellenlänge in cm, ε = Diel. Konst.)

Substanz	t^0	λ cm	ε	Autor
Schwefel, kristallin. gegossen . .	20°	75	3,95	W. Schmidt
„ amorph	„	„	3,80	„
„ krist. gegossen . . .	20°	∞	4,22	Pirani
„ amorph	„	„	3,98	„
„ flüssig nahe Siedep. .	450°	„	3,42	„
Phosphor fest	20°	80	4,1	Schlundt
„ flüssig	45°	„	3,85	„
„ unterkühlt	20°	„	3,85	„
Quarz krist. ⊥ Achse	20°	75	4,32	„
„ „ ∥ Achse	„	„	4,60	„
„ amorph (Quarzglas) . . .	„	„	3,20	Schulze
Calciumcarbonat: rhomboedr. (Kalkspat)				
⊥ Achse	20°	75	8,50	W. Schmidt
∥ Achse	„	„	8,00	„
rhombisch (Aragonit)	„	„	9,80	„
∥ den drei Achsen .	„	„	7,68	„
	„	„	6,55	„
Propylalkohol	15°	75	12,3	Drude
Isopropylalkohol	20°	„	15,4	„
Butylalkohol normal	19°	„	7,6	„
„ sekundär	„	„	11,4	„
„ tertiär	„	„	6,5	„
Isobutylalkohol	18°	73	6,1	„
Buttersäure normal.	17°	73	2,70	„
Isobuttersäure	20°	„	2,60	„
Valeriansäure.	20°	„	2,67	„

Substanz	t°	λ cm	ε	Autor
Isovaleriansäure	20°	73	2,74	Drude
Butylacetat	19°	„	5,00	„
Isobutylacetat	19,5°	„	5,27	„
Aconitsäureester	21°	„	5,65	„
Iso „	20°	„	7,1	„
Butylamin normal	21°	84	5,30	Schlundt
Iso „	„	„	4,43	„
Xylol ortho-	17°	73	2,57	Drude
meta-	„	„	2,37	„
para-	„	„	2,26	„
Xylol ortho-	14°	∞	2,58	Landolt u. Jahn
meta-	„	∞	2,35	„
para-	17°	∞	2,22	„
Propylbenzol	13,8°	„	$2,35_5$	„
Isobenzol	15,6°	„	2,37	„
Isobenzol	17°	„	$2,36_9$	Nernst
Safrol	21°	73	3,06	Drude
Iso „	„	„	3,33	„
Dibrombenzol meta-	20°	∞	8,81	Augustin
„ para-	88°	„	4,57	„
Toluodin ortho-	20°	84	5,93	Schlundt
„ meta-	„	„	5,95	„
„ para-	21,7°	72	ca. 3,0	Speyers
normal m Nitrobenzaldoxin	120°	75	2,5	Augustin
Iso „	117°	„	2,7	„
α-Anisaldoxin (fest)	63°	„	2,7	„
β- „	130°	„	2,7	„
α-Naphtonitril	70°	84	16,0	Schlundt
β- „	„	„	16,9	„
p-Azoxyanisol fest	50°	∞	ca. 2,3	Abegg u. Seitz
„ trübflüssig	95° bis	„	4,3 bis	„
„ (bis homog. fl.)	150°	„	4,6	„
Terpentinöl aus pinus silv. linksdr.			2,271	Tomaszewski
„ aus pinus mar. linksdr.			2,258	„
„ aus pinus austr. rechtsdr.			2,264	„
Zitronenöl rechtsdreh.			2,247	„

Wir können aus dieser Zusammenstellung und aus den von mir ermittelten Werten deutlich erkennen, daß chemisch isomere Verbindungen bezüglich der Dielektrizitätskonstanten große Unterschiede aufweisen. Vor allem tritt dieser Unterschied durch die graphische Darstellung in den beigefügten Tafeln deutlich hervor. Ich habe dabei die durch Beobachtungen ermittelten Punkte, die für die einzelnen Serien gut übereinstimmen, zur Konstruktion je einer Kurve für jede Isomere zusammengefaßt und in der Zeichnung markiert.

IV. Die Dichtebestimmung.

Um noch die für die Beziehung zwischen Dielektrizitätskonstante und Dichte bestehende Lorenz-Lorentz'sche Formel: $\frac{k-1}{k+2} \cdot \frac{1}{d} = \text{const.}$[1]) an den untersuchten Substanzen zu prüfen und die Unterschiede der Konstanten der elektrischen Molekularrefraktion für die verschiedenen Modifikationen aufzeigen zu können, habe ich noch für die Substanzen die Dichten bei verschiedenen Temperaturen bestimmt.

α) Methode der Dichtebestimmung.

Die Bestimmungen wurden vorgenommen mit einem Dilatometer. Die Methode, deren nähere Beschreibung hier zu weit führen würde, war im wesentlichen die von Dickenschied[2]) und Schäfer[3]) angewendete. Zur Erzielung der hohen Temperaturen diente ein elektrischer Heizofen in einem Weinholdschen Gefäße. Das mit Hg bei 0^0 geeichte Dilatometer von Thermometerform wurde in das

1) H. A. Lorentz, Wied. Ann. 9, pag. 641 (1880).
2) Dissertation Halle 1908.
3) Dissertation Halle 1911.

Heizbadöl des elektrischen Ofens eingeführt und bei fallender Temperatur die jedesmalige Höhe der Substanz von fünf zu fünf Grad an der Millimetereinteilung des Dilatometers abgelesen.

Schwierigkeiten entstanden besonders beim Einfüllen der Substanzen in das Dilatometer, was mit einem Kapillartrichter geschah. Das Füllen dauerte bei der Enge des Trichters beträchtlich lange und die ersten drei Substanzen waren bei vollendeter Füllung braun geworden, ein Zeichen ihrer Oxydation, besonders das Hydrochinon zeigte bei seiner hohen Schmelztemperatur diesen Übelstand. Durch das langsame Austropfen aus dem Kapillartrichter kamen zu viel kleine Teilchen der Substauz mit Luft in Berührung und der Oxydationsprozeß war nicht aufzuhalten. Eine wesentliche Besserung wurde nun dadurch erzielt, daß an das Dilatometer eine Erweiterung A angeschmolzen wurde. In die Öffnung bei (1) paßte ein Gummistopfen B mit durchgeführtem Glasröhrchen (2). Der Kapillartrichter mit der festen Substanz wurde oben fest verkorkt und in das verlängerte Dilatometer eingefügt. (Vergl. Fig. 4, Tafel I.) Es konnte dadurch die ganze Vorrichtung tief ins Heizbad getaucht werden, wodurch die Substanz leicht flüssig wurde. Wurde nun bei (2) die Luft aus dem Innenraum des Dilatometers durch einige Kolbenzüge mit der Luftpumpe angesaugt, so floß die flüssige Substanz schnell aus dem Trichter heraus. Durch diese Einrichtung war einerseits die Füllzeit wesentlich verkürzt, andererseits aber in dem luftverdünnten Dilatometerraume bei der kurzen Dauer die Oxydation erschwert, so daß die Substanz leichtflüssig und farblos blieb.

Der kubische Ausdehnungskoeffizient des Glases war:

$$3\beta = 0{,}00002786.$$

Das Volumen bis zur 0-Marke: $D_0 = 1{,}2033$ cm³

„ „ eines Skalenteils

im Intervall 1—3 cm . . $v_0 = 0{,}0009824$ cm³

„ „ 3—8 „ $v_0 = 0{,}0009816$ „

„ „ 8—10 „ $v_0 = 0{,}0009819$ „

Die Ablesungen wurden stets an der Meniskuskuppe gemacht. Vor dem Einfüllen der Substanz und nacher wurde das Dilatometer gewogen. Die Reinigung geschah mit Chloroform, das sich für die Auflösung der organischen Substanzen gut bewährte, getrocknet wurde das Dilatometer mit heißer Luft. Die nochmalige Wägung ergab dann keine wesentliche Differenz mit der zuerst ausgeführten, höchstens 0,5 mg.

Die Dichte berechnete sich nach der Beziehung: $\text{Dichte} = \frac{\text{Masse}}{\text{Volumen}}$ und bei Berücksichtigung der Korrektionen wegen des Meniskus und der Temperatur als

$$d = \frac{P - Q}{(D_0 + n\,v_0 + 0{,}00036)\,(1 + 3\,\beta\,t)}$$ [1])

P = Gewicht des gefüllten Dilatometers,
Q = „ „ leeren „
n = Einstellung der Flüssigkeit bei t^0
0,00036 = Meniskuskonstante.
3β = kub. Ausdehnungskoeffizient des Glases.

β) Die Ergebnisse:

Brenzkatechin, Resorcin und Hydrochinon hatten folgende Dichten:

t^0	Brenzkat.	Resorcin	Hydrochinon
220°	—	—	1,0935
215°	—	—	1,0980
210°	—	—	1,1026
205°	—	—	1,1073
200°	—	—	1,1119
195°	1,0848	1,1210	1,1164
190°	1,0895	1,1256	1,1209
185°	1,0943	1,1298	1,1256
180°	1,0989	1,1342	1,1304

1) Vergl. Dickenschied, Dissert. Halle 1908. S. 15.

t°	Brenzkat.	Resorcin	Hydrochinon
175°	1,1035	1,1386	1,1348
170°	1,1086	1,1429	1,1396
165°	1,1133	1,1473	—
160°	1,1184	1,1514	—
155°	1,1229	1,1557	—
150°	1,1280	1,1600	—
145°	1,1328	1,1642	—
140°	1,1372	1,1683	—
135°	1,1420	1,1725	—
130°	1,1466	1,1768	—
125°	1,1510	1,1811	—
120°	1,1554	1,1853	—
115°	1,1599	1,1896	—
110°	1,1642	—	—
20°[1])	1,344	1,283	1,326

Dichten der Naphtole:

t°	α-Napht.	β-Napht.	Zustand
220°	—	—	flüssig
215°	—		„
210°		—	„
205°	—	—	„
200°	1,0191	1,0186	„
195°	1,0229	1,0224	„
190°	1,0268	1,0263	„
185°	1,0306	1,0300	„
180°	1,0345	1,0340	„
175°	1,0384	1,0378	„
170°	1,0422	1,0414	„
165°	1,0460	1,0452	„
160°	1,0498	1,0489	„
155°	1,0537	1,0527	„
150°	1,0577	1,0566	„

1) Gilt für den festen Zustand (Tab. von Landolt-Börnstein).

t°	α-Napht.	β-Napht.	Zustand
145°	1,0613	1,0603	flüssig
140°	1,0652	1,0640	„
135°	1,0689	1,0678	„
130°	1,0728	1,0715	„
125°	1,0769	1,0753	„
120°	1,0804	—	„
115°	1,0844	—	„
110°	1,0887	—	„
105°	1,0925	—	„
100°	1,0963	—	„
bei 20°[1])	1,224	1,217	fest

Für die 3 Amylalkohole war die Dichte:

t°	Isobutylcarb.	Methylpropyl-carbinol	Dimethyläthyl-carbinol
120°	0,7247	—	—
115°	0,7294	0,7160	—
110°	0,7335	0,7207	—
105°	0,7384	0,7274	—
100°	0,7430	0,7349	0,7305
95°	0,7476	0,7398	0,7363
90°	0,7519	0,7454	0,7418
85°	0,7564	0,7504	0,7473
80°	0,7610	0,7556	0,7530
75°	0,7651	0,7607	0,7584
70°	0,7698	0,7662	0,7639
65°	0,7741	0,7711	0,7690
60°	0,7788	0,7763	0,7746
55°	0,7828	0,7820	0,7799
50°	0,7870	0,7878	0,7855
45°	0,7912	0,7939	0,7907
40°	0,7953	0,7998	0,7963
35°	0,7992	0,8058	0,8015
30°	0,8033	0,8117	0,8067
25°	0,8074	0,8175	0,8121
20°	0,8113	0,8234	0,8172

1) Vergl. Anm. 1, pag. 40.

Die Abnahme der Dichte ist bei den Amylalkoholen also regelmäßig und beträgt im Mittel pro Grad Temperaturerhöhung:

Bei Isobutylcarbinol	0,000866
„ Methylpropylcarbinol . . .	0,001106
„ Dimethyläthylcarbinol . . .	0,001084

V. Beziehung zwischen Dielektrizitätskonstante und Dichte.

Nach den vorausgegangenen Bestimmungen der Dielektrizitätskonstante ε und Dichte λ der vorliegenden acht Isomere möge nun die Konstanten der elektrischen Molekularrefraktion, die sich aus der Formel:

$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{1}{d} = c$ (= Konstante) ergibt, ermittelt werden.

Für den festen Zustand der fünf ersten Substanzen liegt nur eine Dichtebestimmung bei 20° vor. Für diese Temperatur ist „c" bestimmt worden. Jedenfalls ändert sich dasselbe für den festen Zustand äußerst wenig, da ε und d keine größere Änderung erfahren. Für den flüssigen Zustand sind bei denselben Substanzen noch zwei bequem liegende Temperaturen herausgegriffen, um für dieselben die Unterschiede in der Konstanten hervorzuheben.

Für die drei untersuchten Amylalkohole kann selbstverständlich die obige Formel wegen der Eigenartigkeit der Dielektrizitätskonstanten bei zunehmender Temperatur keine strenge Gültigkeit mehr haben. Es ist aber trotzdem für drei Temperaturen die Konstante bestimmt worden und zwar bei 20°, bei dem ungefähren Maximum für ε: 50° und bei 90° C. Die Resultate sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt. Um die Abhängigkeit des c von der Temperatur kenntlich zu machen, habe ich die Änderung des-

selben für 10° Temperaturerhöhung berechnet und mit δc bezeichnet. [1])

	Substanz	t°	Diel. Konst.	Dichte	c	δc (für 10°)
1.	Brenzkatechin	**20°**	**2,785**	**1,3440**	**0,2776**	
	„	110°	16,242	1,1642	0,7177	— 0,0007
	„	180°	11,855	1,0989	0,7129	
2.	Resorcin	**20°**	**3,119**	**1,2830**	**0,2563**	
	„	110°	13,027	1,1938	0,6704	— 0,0018
	„	180°	9,816	1,1342	0,6578	
3.	Hydrochinon	**20°**	**2,763**	**1,3260**	**0,2792**	
	„	170°	9,875	1,1396	0,6558	+ 0,0031
	„	180°	9,759	1,1304	0,6589	
4.	α-Naphtol	**20°**	**2,946**	**1,2240**	**0,3215**	
	„	125°	4,281	1,0769	0,4839	0,0000
	„	175°	3,955	1,0229	0,4840	
5.	β-Naphtol	**20°**	**3,025**	**1,2170**	**0,3311**	
	„	125°	4,545	1,0753	0,5037	+ 0,0015
	„	175°	4,283	1,0224	0,5111	
6.	Isobutylcarbinol	20°	5,869	0,8113	0,7627	+ 0,0553
	„	50°	9,133	0,7870	0,9285	— 0,0108
	„	90°	6,976	0,7519	0,8854	
7.	Methylpropylcarbinol	20°	6,136	0,8234	0,7667	+ 0,0295
	„	50°	7,271	0,7878	0,8572	— 0,0112
	„	90°	5,604	0,7454	0,8123	
8.	Dimethyläthylcarbinol	20°	5,675	0,8172	0,7454	+ 0,0034
	„	50°	5,379	0,7855	0,7555	+ 0,0011
	„	90°	4,863	0,7418	0,7598	

Aus der voranstehenden Zusammenstellung ergeben sich einige Beziehungen zwischen der Konstanten c und der chemischen Konstitution. Im allgemeinen ist c für Isomere bei derselben Temperatur verschieden. Für denselben

[1]) Anmerkung: Die Werte für die Diel.-Konst. sind aus den Tabellen interpoliert worden. Die fett gedruckten Zahlen beziehen sich auf den festen Zustand.

Aggregatzustand ist die Änderung von c mit der Temperatur nur gering und liegt — abgesehen von den Amylalkoholen — innerhalb der Grenze der Beobachtungsfehler, kann daher als konstant angesehen werden. Eine bedeutende Änderung zeigt sich dagegen für dieselbe Substanz beim Übergange vom festen zum flüssigen Zustand. Dabei wird c bedeutend größer. Der Aufbau des Moleküls aus den gleichen Atomen kann also eine Verschiedenheit des c bedingen, wenn die Anordnung der Atome verschieden ist, d. h. wenn die Substanzen isomer sind. Doch ist der Schluß kein allgemein gültiger, denn Brenzkatechin und Hydrochinon zeigen bei 20° trotz verschiedener Konstitution ein nahezu gleiches c. Dasselbe gilt für die beiden Amylalkohole: Isobutylcarbinol und Methylpropylcarbinol bei derselben Temperatur von 20°. Für 50° ist dagegen der Unterschied ein bedeutender. Es kann daher aus den zuletzt erwähnten Tatsachen heraus eine Schlußfolgerung, wie sie die Herren Dr. Specht und Sultze für die Übergänge von einer Phase in eine andere bei den von ihnen untersuchten flüssigen Kristallen zogen, nicht als unbedingt bindend angesehen werden. Es läßt sich nicht ohne weiteres von einem Konstantbleiben des c auf eine unveränderte chemische Konstitution mit Sicherheit schließen. Dazu kommt, daß die Unterschiede bei den Übergängen sich dort schon in der 2. Dezimale des c bemerkbar machen, während bei den in der vorliegenden Arbeit beobachteten Substanzen für ein weit größeres Temperaturintervall (10°) die Änderung erst in der 3. Dezimalstelle auftritt. Daß für Substanzen, die sich elektrisch anomal verhalten, jede Folgerung aus c auf die chemische Konstitution ausgeschlossen ist, ergibt sich von selbst, da die Formel: $\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} \cdot \frac{1}{d} = c$ dann keine strenge Gültigkeit mehr besitzt, wenigstens soweit das betrachtete Schwingungsgebiet dabei in Frage kommt.

VI. Zusammenfassung.

1. Es wurden die Dielektrizitätskonstanten und Dichten bei verschiedenen Temperaturen für folgende Isomere bestimmt:
   a) Brenzkatechin, Resorcin, Hydrochinon;
   b) α-Naphtol, β-Naphtol;
   c) Isobutylcarbinol, Methylpropylcarbinol, Dimethyläthylcarbinol.
2. Die Kurve der Dielektrizitätskonstanten zeigt im Schmelzpunkt eine Diskontinuität und ist für die einzelnen Isomere verschieden.
3. Für Isobutylcarbinol und Methylpropylcarbinol ergibt sich in der Kurve der Dielektrizitätskonstanten ein Maximum bei etwa 47^0.
4. Die Hydroxylgruppe kann die elektrische Anomalie nicht allein bedingen.
5. Die Konstante der elektrischen Molekularrefraktion ist für dieselbe Modifikation von der Temperatur unabhängig.
6. Für die unter 3. genannten Substanzen besitzt die Lorenz-Lorentzsche Formel keine strenge Gültigkeit.
7. Man kann von einem Konstantbleiben der Größe C noch nicht mit Sicherheit auf ein Gleichbleiben der chemischen Konstitution schließen.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden vom September 1910 bis Juli 1911 im physikalischen Institut der Universität Halle a. S. ausgeführt.

Herrn Geheimen Regierungsrat Professor Dr. Dorn statte ich hier den aufrichtigsten Dank ab für die freundliche Anregung zu vorliegender Arbeit sowie für die liebenswürdige Unterstützung bei ihrer Ausführung.

Dank sage ich auch Herrn Privatdozenten Dr. Wigand für die mir erteilten Ratschläge!

Lebenslauf.

Geboren wurde ich, Paul Böhm, zu Baucke, Kr. Neisse (Schlesien) am 12. September 1881 als Sohn des Schmiedemeisters Franz Böhm und seiner Ehefrau (†) Maria, geb. Aust. Ich bin kath. Religion und preußischer Staatsangehörigkeit. Zuerst besuchte ich die Volksschule meines Heimatsortes und trat 1895 in das Gymnasium zu Weidenau ein, woselbst ich mir 1903 das Reifezeugnis erwarb. Vom W.-S. 1903/04 bis S.-S. 1906 studierte ich an der Universität Breslau Theologie und legte dort das erste theol. Examen ab. Darauf war ich Hauslehrer bei Herrn Baron von Wuthenau (Hohenthurm). Vom W.-S. 1907/08 bis S.-S. 1911 studierte ich an der Universität Halle Mathematik und Physik. Hier bestand ich auch das Examen rigorosum.

Ich hörte bei folgenden Herren Professoren und Dozenten:

In Breslau:

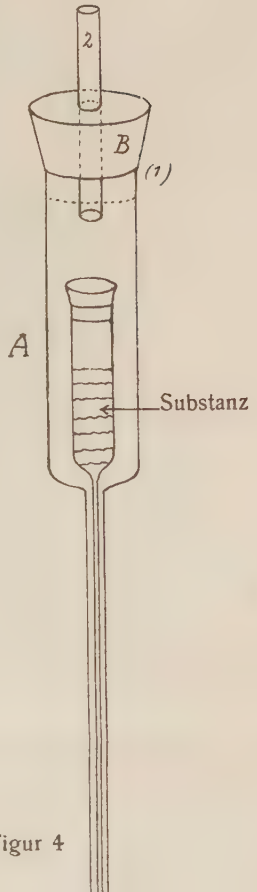
Baumgartner, Ebbinghaus †, Filke †, Koenig, Krawutzcky†, Landsberg, Lummer, Nikel, Partsch, Pohle, Rohr, Rosanes, Cl. Schaefer, Stern, Sdralek, von Teßen, Triebs.

In Halle:

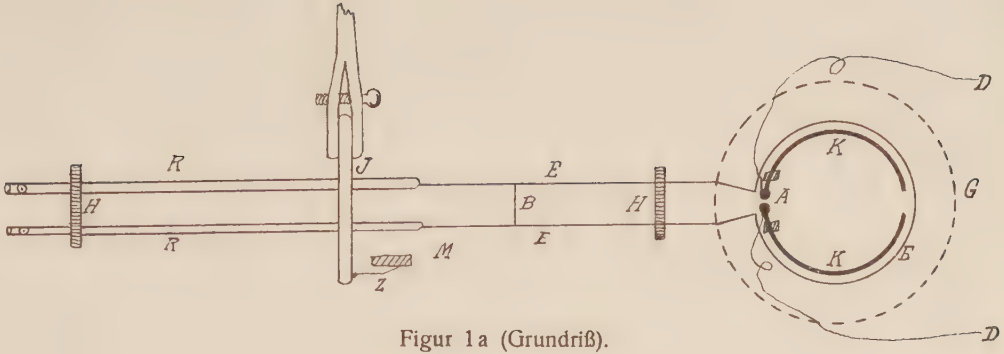
Bremer, Buchholz, Cantor, Dorn, Fries, Goldschmidt, Grenacher, Gutzmer, Krueger, Martiny, Menzer, Schmidt, Stammler, Wangerin, Walther, Wigand, Wüst.

Alle meine Lehrer seien meines steten Dankes versichert!

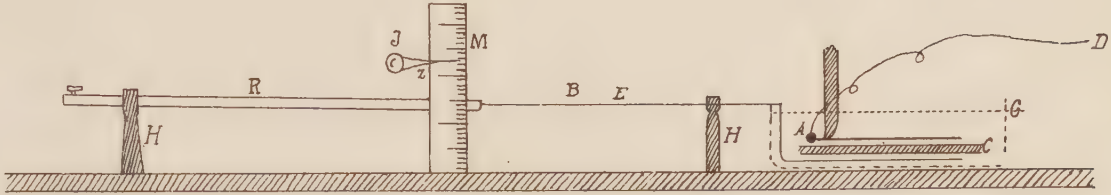
Tafel I.



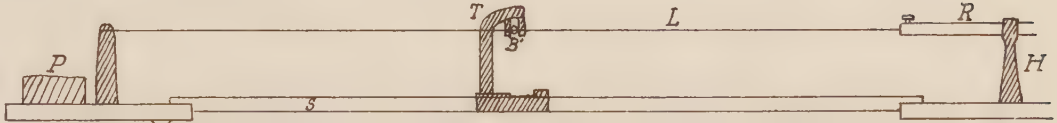
Figur 4



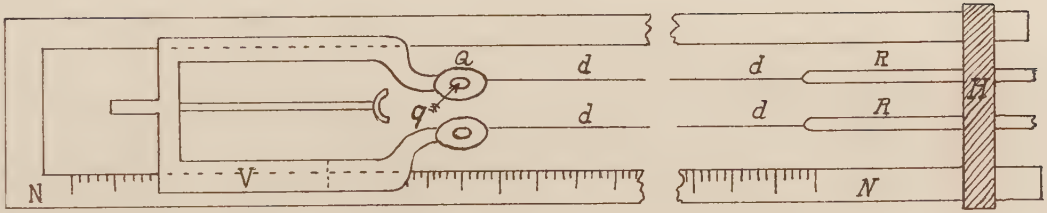
Figur 1a (Grundriß).



Figur 1b (Aufriß).



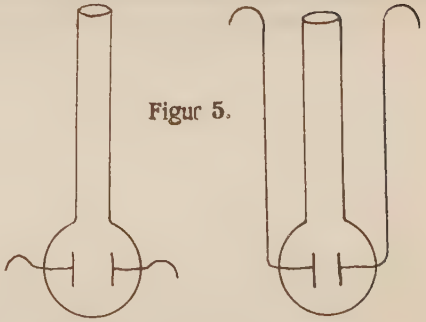
Figur 2 (System zur Bestimmung der Wellenlänge).



Figur 3. (N Messingrahmen mit Glasschlitten V).
(Grundriß.)

In Figur 1a und 1b bedeutet: H . . . Ebonithalter des sekundären Systems.
Z den am Maßstab M spielenden Zeiger.
„ „ 2 „ T den Träger der verschiebbaren Brücke B′.
S einen Maßstab zur Ablesung der Lage von B′.
F Tischchen mit Bleigewicht P zur Spannung von L.

Kondensatorfläschchen

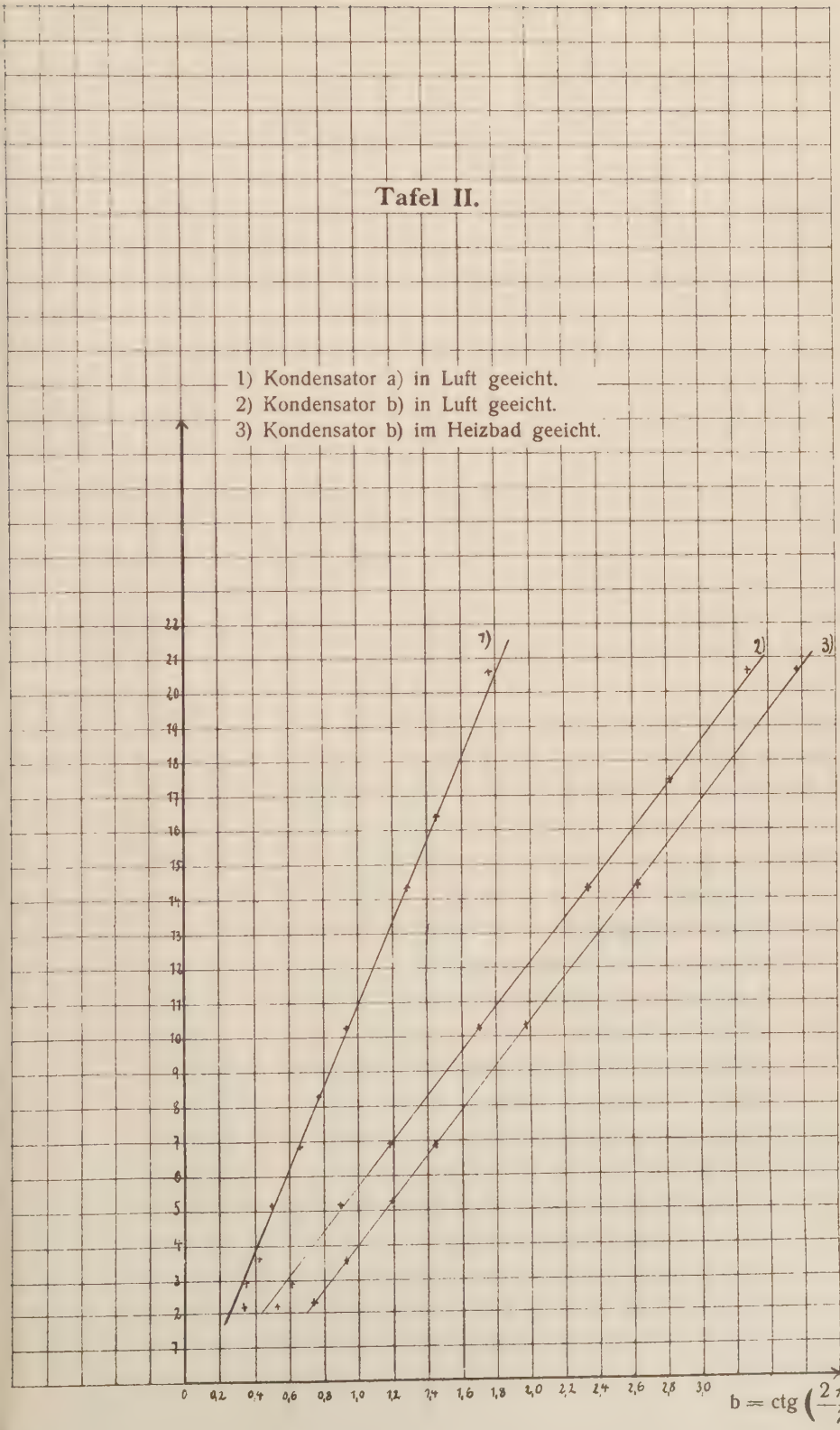


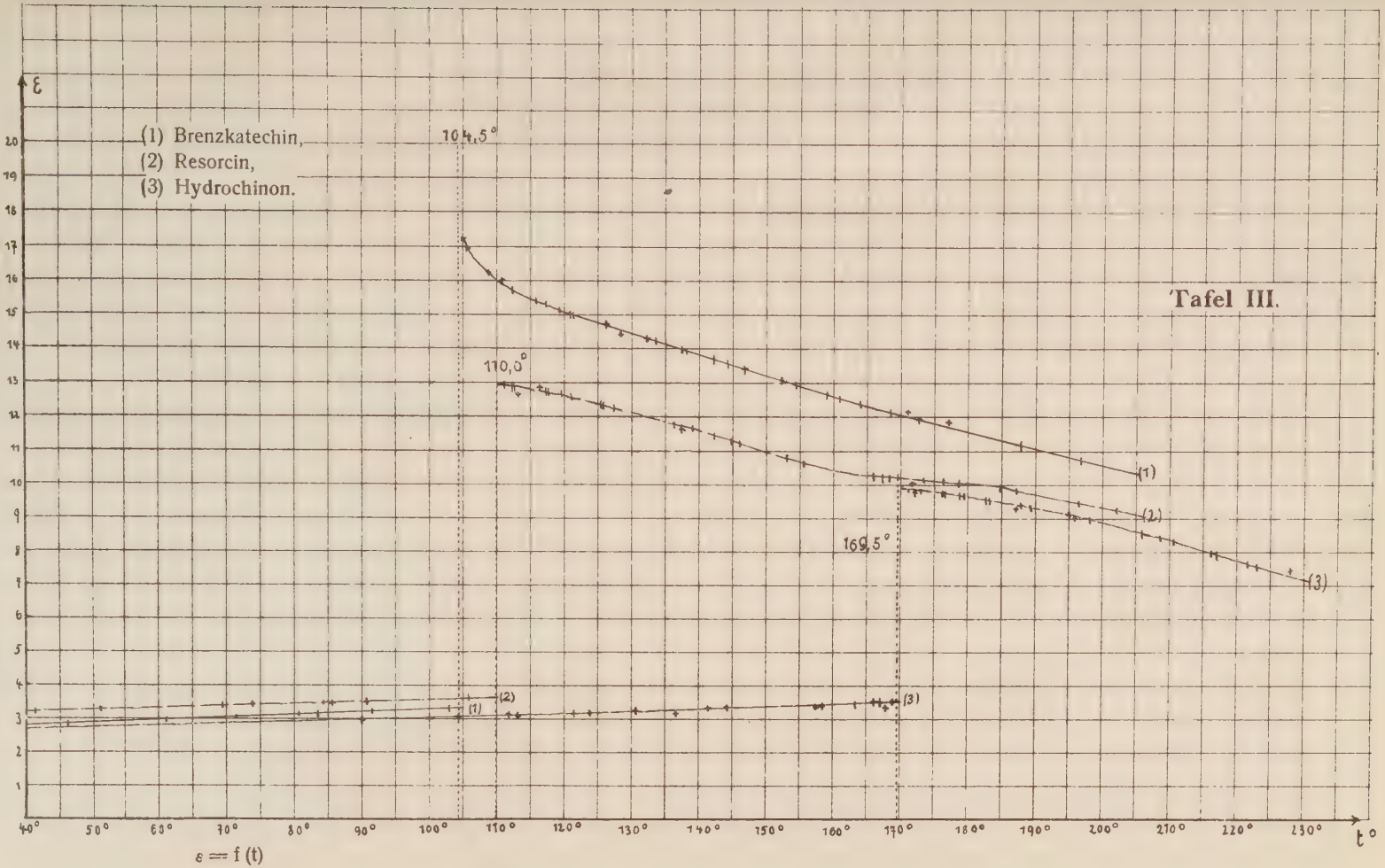
Figur 5.

Form a Form b

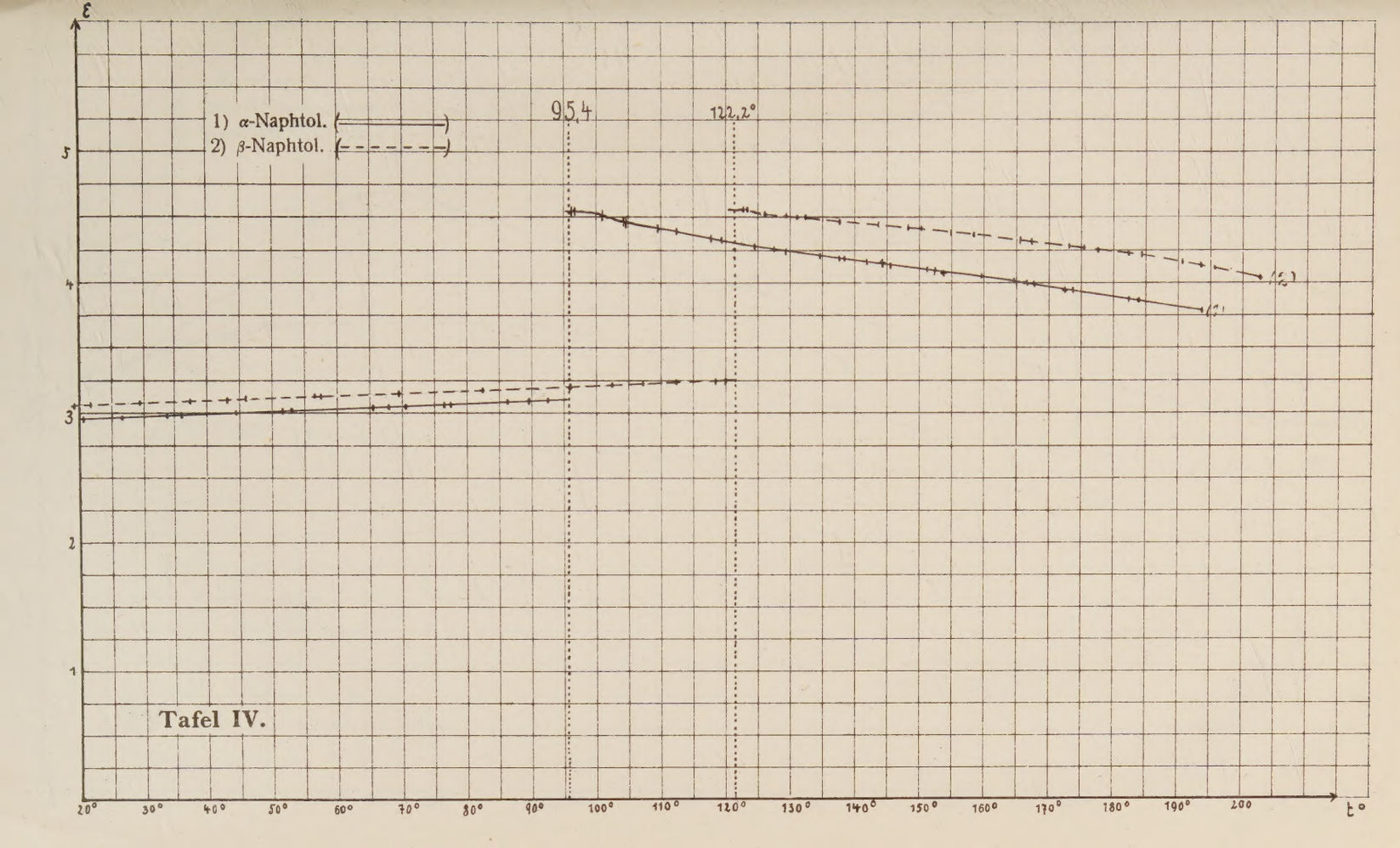
($^1/_1$ natürl. Größe).

Tafel II.

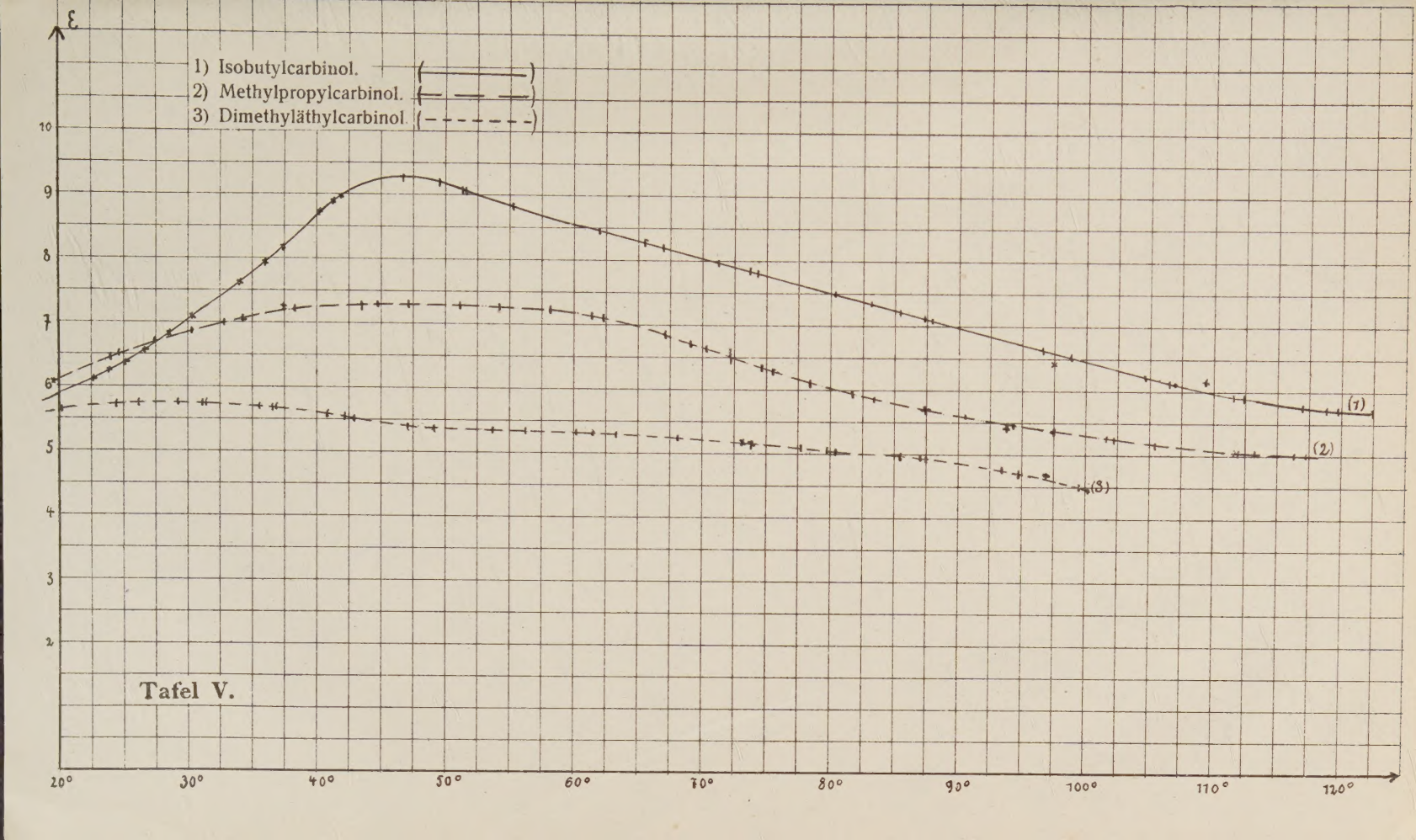

1) Kondensator a) in Luft geeicht.
2) Kondensator b) in Luft geeicht.
3) Kondensator b) im Heizbad geeicht.
1)
2)
3)
0 0,2 0,4 0,6 0,8 1,0 1,2 1,4 1,6 1,8 2,0 2,2 2,4 2,6 2,8 3,0
$b = \operatorname{ctg}\left(\frac{2\pi l}{\lambda}\right)$


ε
(1) Brenzkatechin,
(2) Resorcin,
(3) Hydrochinon.
104,5°
110,0°
169,5°
(1)
(2)
(3)
t°
ε = f (t)

Tafel III.


ε
1) α-Naphtol.
2) β-Naphtol.
95,4
122,2°
5
4
3
2
1
20° 30° 40° 50° 60° 70° 80° 90° 100° 110° 120° 130° 140° 150° 160° 170° 180° 190° 200
t°

Tafel IV.


ε
1) Isobutylcarbinol.
2) Methylpropylcarbinol.
3) Dimethyläthylcarbinol.
10
9
8
7
6
5
4
3
2
(1)
(2)
(3)
20°
30°
40°
50°
60°
70°
80°
90°
100°
110°
120°

Tafel V.